

О возможности использования оптоакустических методов для исследования свойств биологических тканей

Д. А. Кравчук

Южный федеральный университет, Таганрог

Аннотация: Измерение общей концентрации гемоглобина в крови широко используется как в общем анализе для оценки общего состояния человека, так и во время операции, связанной с быстрой потерей крови, переливанием крови или быстрым введением жидкости. Хотя текущие инвазивные методы измерения гемоглобина точны, им требуется частая выборка крови и некоторое время для получения результатов из удаленной лаборатории. Более того, изъятие крови часто не является приемлемым вариантом для пациентов с хирургией, поскольку это может способствовать уменьшению анемии. Оптоакустический метод может быть хорошей альтернативой инвазивным методам

Ключевые слова: оптоакустика, оптоакустические волны, биожидкость, кислородонасыщение, гемоглобин.

Световой импульс лазерного излучения настолько короток, что нагрев поглотителя происходит мгновенно без расширения, что приводит к повышению давления [1]. Результирующая волна давления будет распространяться через ткань и может быть обнаружена на поверхности ткани. Расстояние от оптоакустического источника до приемника можно определить, измеряя время между генерацией акустической волны и приходом акустической волны на поверхность ткани, используя скорость звука в ткани. [1-4].

Поглощение ближнего инфракрасного лазерного излучения в крови зависит от концентрации гемоглобина, которая является наиболее распространенным хромофором крови. Когда короткий лазерный импульс облучает кровеносный сосуд, ультразвуковая волна генерируется в крови из-за поглощения и дальнейшего термоупругого расширения. Эта волна детектируется оптоакустическим преобразователем, прикрепленным к коже. Амплитуда и временной профиль сигнала преобразователя зависят от коэффициента затухания крови и, следовательно, от общей концентрации гемоглобина.

Таким образом, можно контролировать общую концентрацию гемоглобина путем анализа параметров оптико-акустического сигнала, генерируемого в крови. Среди всех поверхностных кровеносных сосудов человеческого тела лучевая артерия представляется наиболее удобным местом для оптоакустического мониторинга общей концентрации гемоглобина. В работе [4] представлены результаты измерений *in vitro* в крови овец с различными концентрациями общего гемоглобина и *in vivo* у здоровых добровольцев. Авторы [4] использовали лазер Nd: YAG ($\lambda = 1064$ нм, длительность импульса = 10 нс).

Также немаловажным является непрерывный мониторинг оксигенации мозговой крови и имеет решающее значение для успешного лечения пациентов с тяжелой травматической черепно-мозговой травмой. В настоящее время методы мониторинга оксигенации крови являются инвазивными. В работе [5] предложили неинвазивный мониторинг оксигенации мозговой крови с помощью оптоакустического зондирования крови, циркулирующей во внутренней яремной вене (IJV).

Автоматическая обработка сигналов определяет сигнал с наилучшим выравниванием зондовой емкости, который затем используется для дальнейшей обработки. Сканирующую систему тестировали на ошибки с использованием растворов с различными коэффициентами поглощения и с кровью с различными уровнями оксигенации крови. [5, 4-6]

При травмах головного мозга, приблизительно 6% приводят к постоянной инвалидности, а 3,6% приводят к смерти. [1-6]. Текущие методы лечения направлены на минимизацию дополнительного повреждения головного мозга из-за вторичных механизмов, таких как отек, ишемия и гипоксия. В отделении интенсивной терапии вторичная травма обнаруживается посредством мониторинга мозговой гемодинамики, электрической активности мозга и церебральной оксигенации.

Один из методов мониторинга глобальной оксигенации головного мозга достигается путем введения катетера в яремную вену. Непрерывный мониторинг $SjvO_2$ позволяет выявлять дезатурации, которые, как считается, указывают на ухудшение глобальной церебральной гипоксии. У большинства пациентов насыщение покидающей мозг крови составляет 55-69%, значения менее 50% связаны с плохим клиническим исходом у пациентов с травмами головного мозга. [6]

Инвазивный мониторинг может предоставить ценную информацию для лечения, но он имеет несколько ограничений. Венозная катетеризация связана с осложнениями (кровотечение, прокол сонной артерии, инфекции и т. д.). Кроме того, размещение катетера может изменить значение кислородонасыщения. Катетер, который проксимально смещен во внутреннюю яремную вену будет обнаруживать насыщение смешанной лицевой и мозговой венозной крови, давая более высокое значение $SjvO_2$, которое может быть ложно истолковано как свидетельство адекватной оксигенации мозговой крови. Кроме того, повреждение наконечника катетера может изменить показания. Таким образом, неинвазивная система мониторинга мозгового кровообращения может значительно облегчить наблюдение за черепно-мозговой травмой.

В связи с этим исследования, проводимые в рамках создания проточного цитомера [7-18] являются перспективными и требуют продолжения разработки математических моделей созданных в [19-28].

Литература

1. Prough D. S., Petrov Y. E., Klasing M. H., Motamedi M., Esenaliev R. O., Journal of the American Society of Anesthesiologists 95, A555 pp. 010305-1 - 010305-6 (2001).



2. Deyo D. J., Esenaliev R. O., Hartrumpf O., Motamedi M., Prough D. S., Anesthesia and Analgesia (Supplement) 92, p.139 (2001).
 3. Brecht H.-P., Petrov Y. Y., Prough D. S., Deyo D. J., Hartrumpf O., Esenaliev R. O., “Noninvasive continuous optoacoustic monitor of total hemoglobin concentration,” in Proceedings of 2nd Joint EMBS-BMES conference, Houston, TX, October 23-26, 2002, pp. 2289-2290.
 4. Petrova I. Y., Prough D. S., Petrov Y. Y., Brecht H.- P. F., Svensen C., Olsson J., Deyo D. J., Esenaliev R. O. p. FH4. 2003.
 5. Soehle M., Jaeger M., Meixensberger J., Neurological Research 25, no. 4, pp. 411-417 (2003).
 6. Coles J. P., Current Opinion in Critical Care 10, no. 2, pp.120-125 (2004).
 7. Старченко И.Б., Кравчук Д.А., Кириченко И.А. Прототип оптоакустического лазерного цитомера. Медицинская техника. 2017. №5. С. 4-7.
 8. Кравчук Д.А., Старченко И.Б. Математическое моделирование оптоакустического сигнала от агрегированных эритроцитов для оценки уровня агрегации. Санкт-Петербург. Российская академия наук Институт аналитического приборостроения РАН. Научное приборостроение, 2018, том 28, № 1, с. 30–36.
 9. Кравчук Д. А., Старченко И. Б. Моделирование процесса насыщения кислородом биологических тканей с помощью оптоакустического метода. Санкт-Петербург. Российская академия наук. Институт аналитического приборостроения РАН. Научное приборостроение, 2018, том 28, № 2, с. 20–25.
 10. Кравчук Д.А., Старченко И.Б. Математическое моделирование оптикоакустического сигнала от эритроцитов. Вестник новых медицинских технологий. 2018. № 1. С. 96-101.
-

11. Кравчук Д.А., Старченко И.Б. Математическое моделирование оптикоакустического сигнала от сферических поглотителей на примере эритроцитов. "Известия Юго-Западного государственного университета". Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2017. Т.7. №3 (24) с. 101-107.
12. Кравчук Д.А. Система проточной лазерной диагностики жидкостей при генерации оптоакустического сигнала на рассеивателях сферической формы. Качество и жизнь. Москва 2017. №4. с.74-78
13. Кравчук Д.А. О методе моделирования оптоакустических сигналов от источников сферической формы на примере эритроцитов. Качество и жизнь. Москва 2017. №4. с.78-80
14. Кравчук Д.А. Теоретические исследования генерации оптоакустических волн в жидкости цилиндрическими поглотителями // Инженерный вестник Дона, 2017, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4350.
15. Кравчук Д.А. Аналитический результат генерации оптоакустических волн для сферических поглотителей в дальнем поле // Инженерный вестник Дона. 2017, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4436.
16. Кравчук Д.А. Применение оптоакустических методов в биомедицинских исследованиях. Инженерный вестник Дона, 2017, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4484.
17. Кравчук Д.А. Математическая модель агрегации эритроцитов для исследования оптоакустическим методом. Качество и жизнь. Москва. 2018. № 1 (16). С. 41-43.
18. Кравчук Д.А. Математическая модель изменения формы эритроцитов для регистрации патологии оптоакустическим методом. Качество и жизнь. Москва. 2018. № 1 (16). С. 44-46.



19. Кравчук Д.А. Особенности формирования оптоакустических волн в биологических тканях // Инженерный вестник Дона, 2018, №1 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2018/4766

20. Кравчук Д.А., Созинова А.М. О возможности обнаружения вирусов оптоакустическим методом с использованием углеродных наночастиц // Инженерный вестник Дона, 2018, №1 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2018/4976.

References

1. Prough D. S., Petrov Y. E., Klasing M. H., Motamedi M., Esenaliev R. O., Journal of the American Society of Anesthesiologists 95, A555 pp. 010305-1 - 010305-6 (2001).
2. Deyo D. J., Esenaliev R. O., Hartrumpf O., Motamedi M., Prough D. S., Anesthesia and Analgesia (Supplement) 92, p. 139 (2001).
3. Brecht H.-P., Petrov Y. Y., Prough D. S., Deyo D. J., Hartrumpf O., Esenaliev R. O., in Proceedings of 2nd Joint EMBS-BMES conference, Houston, TX, October 23-26, 2002, pp. 2289-2290.
4. Petrova I. Y., Prough D. S., Petrov Y. Y., Brecht H.- P. F., Svensen C., Olsson J., Deyo D. J., Esenaliev R. O. p.FH4. 2003
5. Soehle M., Jaeger M., Meixensberger J., Neurological Research 25, no. 4, pp.411-417 (2003).
6. Coles J. P., Current Opinion in Critical Care 10, no. 2, pp.120-125 (2004).
7. Starchenko I.B., Kravchuk D.A., Kirichenko I.A. Medicinskaya tekhnika. 2017. №5. pp. 4-7.
8. Kravchuk D.A., Starchenko I.B. Rossijskaya akademiya nauk. Institut analiticheskogo priborostroeniya RAN. Nauchnoe priborostroenie, 2018, V. 28, № 1, pp. 30–36.



9. D. A. Kravchuk, I. B. Starchenko. Sankt-Peterburg. Rossijskaya akademiya nauk. Institut analiticheskogo priborostroeniya RAN. Nauchnoe priborostroenie, 2018, tom 28, № 2, pp. 20–25.
10. Kravchuk D.A., Starchenko I.B. Vestnik novyh medicinskih tekhnologij. 2018. № 1. pp. 96-101.
11. Kravchuk D.A., Starchenko I.B. "Izvestiya YUgo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta". Seriya Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie. 2017. V.7. №3 (24) pp. 101-107.
12. Kravchuk D.A. Kachestvo i zhizn'. Moskva 2017. №4. pp.74-78.
13. Kravchuk D.A. Kachestvo i zhizn'. Moskva 2017. №4. pp.78-80.
14. Kravchuk D.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4350.
15. Kravchuk D.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4436.
16. Kravchuk D.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4484
17. Kravchuk D.A. Kachestvo i zhizn'. Moskva. 2018. № 1 (16). pp. 41-43.
18. Kravchuk D.A. Kachestvo i zhizn'. Moskva. 2018. № 1 (16). pp. 44-46.
19. Kravchuk D.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2018, №1. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2018/4766
20. Kravchuk D.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2018, №1. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2018/4976.